УДК 121.822.002

В.А. КОХАНОВСКИЙ, Ю.В. СИДЕЛЬНИК-РУБАНОВА

ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРИБОСИСТЕМ С КОМПОЗИЦИОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

Приведены результаты исследования момента страгивания металлополимерных пар трения в условиях вращательного движения. Определены данные о влиянии термосилового нагружения на коэффициент трения.
Ключевые слова: *фторопластсодержащее композиционное покрытие, тензобалка, трибосистема, коэффициент трения покоя, регрессионные модели.*

Введение. Металлополимерные трибосистемы с фторопластсодержащими композиционными покрытиями широко применяются в авиакосмической и транспортной технике. Они представляют собой гибридный композит на основе полимерных волокон «полифен» и «аримид Т», пропитанных фенолформальдегидным связующим ГИПК-114. Подобные материалы предназначены для тяжелонагруженных и относительно низкоскоростных трибосистем [1]. Превышение пусковых моментов трения над рабочими требует определенных запасов мощности у машин и агрегатов.

Кроме того, реалогическая природа металлполимерного контакта делает пусковые характеристики подобных сопряжений зависящими от скорости вращения. Последнее обстоятельство в ряде случаев вызывает необходимость периодических контрольных прокруток сопряжений, что делает информацию о пусковых характеристиках важной и актуальной для эксплуатационной практики. Информация о пусковых характеристиках рассматриваемых материалов в настоящее время практически полностью отсутствует.

Постановка задачи. Для восполнения этого пробела и расширения области применимости рассматриваемых материалов необходимо получить данные о коэффициентах (моментах) трения покоя. В настоящее время величина этих параметров может быть определена только в результате экспериментальных исследований, которые велись на гамме трибосистем с различным сочетанием марок композит-металл для разных нагрузочно-скоростных режимов.

Методика исследования. Установка для определения пусковых параметров трибосистем разработана на базе токарно-винторезного станка. Для компенсации инерции привода в цепь от шпинделя к контртелу включена электромагнитная муфта. Нагрузочное устройство представлено на рис.1.

Внутрь (имеющей возможность самоустановиливаться по валу) устройства вставлены две обоймы 1, 5, в которых фиксированы штифтами 10 вкладыши с покрытием. Усилие нагружения создается пластинчатой пружиной 6, а отсчитывается по индикатору часового типа 7. Крутящий момент действует на тензобалку 9, усиливается и фиксируется на ленте самопишущего быстродействующего прибора Recorder indim 621.01. Чувствительность прибора 0,1 μu/см, скорость лентопротяжки 1,0 – 600 мм/мин.

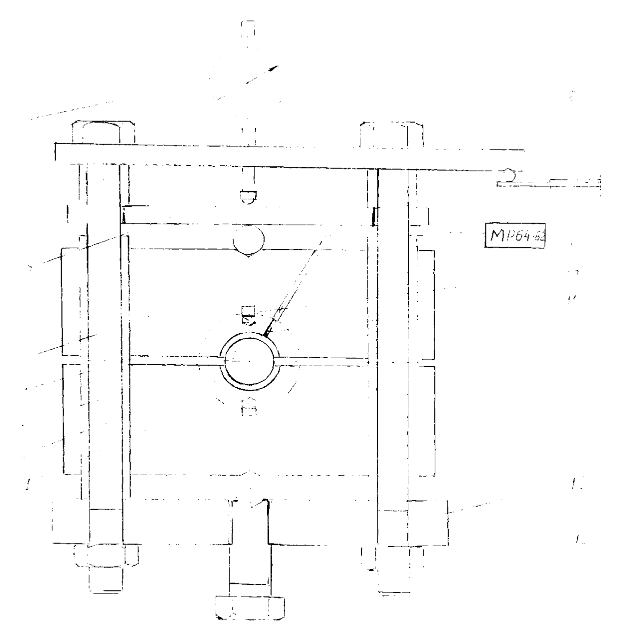


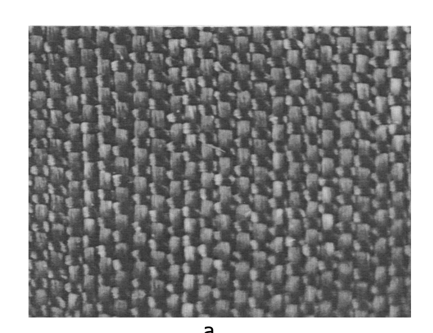
Рис.1. Нагрузочное устройство: 1 – нижняя обойма; 2 – вкладыш нижний; 3 – контртело-вал; 4 – вкладыш верхний; 5 – обойма верхняя; 6 – пружина; 7 – индикатор; 8 – рычаг; 9 – тензобалка; 10 – фиксаторы; 11 – термопара; 12 – опора; 13 – нагружающий винт

Исследовалось четыре типа композитов:

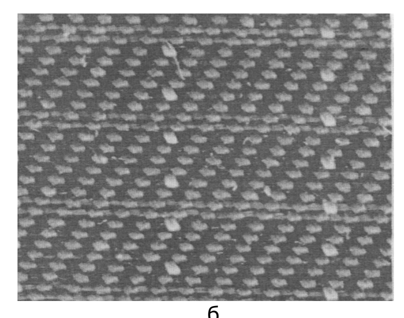
- шестиремизный неправильный полутораслойный атлас толщиной 0,23 мм и 0,53 мм;
- полутораслойная саржа 1/3, толщиной 0,45 мм;
- однослойная саржа 1/1 (полотно), толщиной 0,30 мм.

Полутораслойные ткани имели основу и верхний уток из фторопласта (рис.2).

Кроме того, у саржи ⅓ на поверхность с шагом 6 мм выведены нити арамида. Однослойная саржа $^{1}/_{1}$ выполнена из комплексных крученых нитей (две – полифен, одна – арамид).



а



б

Рис. 2. Поверхность армирующих тканей: а – атлас, б – саржа ⅓

Покрытие наносилось на частичные вкладыши Ø 14x10 мм (рис.3). Контртела представляли собой валики Ø 14x20 мм из сталей марок -

сталь 45, ШХ 15, нержавеющая сталь 14Х 17Н2 и титановый сплав ВТ 3-1. Поверхность контртел доводилась до R_a 0,4-0,5 мкм. Эксперименты выполнялись в соответствии с полнофакторным двухуровневым планом 2^2. Исходные данные представлены в табл.1.

Таблица 1

Исходные данные ПФЭ 2^2

№ п/п	Факторы		Уровни факторов			Интервал варьирования	Кодовые обозначения
	Наименование	Размерность	верхний	нижний	средний		
1	Контактные напряжения	МПа	75	5	40	35	X_1
2	Скорость скольжения	м/с	0,5	0,08	0,29	0,21	X_2

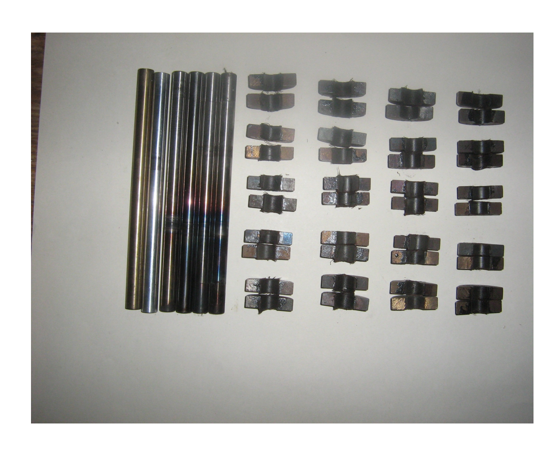


Рис. 3. Общий вид контртел и вкладышей

Рис. 4 Момент страгивания (σ=75 МПа, *V* = 0,08 м/с; атлас δ=0,55 мм арт. 5387/2-79 – сталь 45)

Влияние температуры на процесс страгивания устанавливалось по результатам однофакторного эксперимента. Зона трения нагревалась до температуры 150^0 С (423^0К) трубчатой печью. Термостатирование осуществлялось при помощи термопары ХК и регулирующегося милливольтметра МР 64-82. При экспериментальных исследованиях выполнялось не менее трех параллельных опытов, а результаты подвергались статистической обработке.

Обсуждение результатов. Типичные результаты изменения момента трения при страгивании и стационарном вращении приведены на рис.4.

В связи с весьма малой величиной предварительного смещения первоначальный пик момента трения на диаграмме (см. рис.4) действует практически мгновенно. При указанных режимах для неприработанной пары момент страгивания или рассчитанный по его величине коэффициент трения покоя превышает стационарные величины в среднем на 8,5%.

Первым результатом экспериментальных исследований являлись регрессионные модели зависимости коэффициента трения покоя от нагрузочно-скоростных факторов в кодовых переменных.

$$f_n = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{1,2} x_1 x_2 \, . \qquad (1)$$

Анализ структуры моделей свидетельствует о наличие коэффициентов смешанных взаимодействий. Величины коэффициентов моделей (стандартные обозначения), представленных в кодовых переменных, при-ведены в табл.2.

Таблица 2

Параметры регрессионных моделей
(кодовые переменные)

№ п/п	Армирующий каркас композита	Толщина, мм	Коэффициенты			
			$в_0$	$в_1$	$в_2$	$в_{12}$
1	Атлас неправильный	0,55	-1,0550	0,2207	0,1895	0,0802
2	-«-	0,31	-1,0575	0,2207	0,1362	0,0446
3	Саржа ⅓	0,47	-1,0196	0,1806	0,1522	0,0703
4	Саржа $^1/_1$	0,33	-0,2308	0,2186	0,1920	0,0898

Сравнительный анализ величины коэффициентов моделей показывает минимальный вклад в результаты экспериментов смешанных взаимодействий и наибольшее влияние контактных напряжений. Последнее обстоятельство может быть объяснено относительно низкой жесткостью полимерного покрытия. Следовательно, стандартный расчет по «PV» металлополимерных трибосистем мало информативен как в стационарном, так и в пусковом режиме.

Следует отметить, что при неизменном характере влияния скоростного фактора величины выхода моделей должны возрастать при увеличении габаритов трибосопряжения. Это связано с зависимостью адгезионной составляющей силы трения от величины контактной площади и величины инерционной составляющей от страгиваемой массы.

Дальнейшая обработка результатов ПФЭ 2^2 позволила получить регрессионные модели зависимости коэффициента трения покоя от контактной нагрузки и скорости страгивания (см. табл.2). Модели в натуральных переменных имеют однотипную структуру вида:

$$f = a\sigma^b V^{c+d\lg\sigma}, \qquad (2)$$

где f – коэффициент трения; σ – средние контактные напряжения в МПа; V – скорость скольжения в м/с; a,b,c,d – параметры.

Таблица 3

Параметры регрессионных моделей
(натуральные переменные)

№ п/п	a	b	c	d
1	0,2968	-0,1528	0,0430	0,3315
2	0,3115	-0,2422	0,097	0,1904
3	0,236	-0,0972	-0,004	0,3004
4	0,2801	-0,1034	-0,0114	0,3838

Последовательность и порядковые номера композитов в табл.2 и 3 совпадают. Анализ табличных данных позволяет сделать ряд выводов.

1. Процесс страгивания и, по-видимому, величина предварительного смещения для всех исследованных композиционных по-

крытий подчиняются близким закономерностям и имеет один порядок.

2. Покрытия с армирующим каркасом на основе тканей атласного плетения более чувствительны к нагрузкам, что очевидно связано со 100%-ным содержанием фторопластовых нитей на поверхности покрытия. Ткани саржевого плетения в среднем на 49,2% менее чувствительны к нагрузкам из-за наличия на рабочей поверхности более жестких нитей из аримида.
3. В сравнении с коэффициентом трения при стационарных режимах [3] коэффициенты трения покоя выше на 6-9%.

Значительное влияние на фрикционные свойства полимеров оказывает температура [1, 2]. Обработка методом наименьших квадратов результатов однофакторного эксперимента позволила получить для атласа толщиной 0,55мм температурную зависимость вида:

$$f = 0{,}7415T^{-2{,}493}, \qquad (3)$$

где T – температура зоны трения 10^{-2}К.

Переводя выражение (3) в безразмерные величины и используя результаты нагрузочноскоростных исследований, получим обобщенную модель вида:

$$f = 4{,}3\sigma^{-0{,}15}T^{-2{,}49}V^{0{,}043+0{,}33\lg\sigma}\ . \qquad (4)$$

Графическая интерпретация модели (4) выполнена методом двумерных сечений (рис.5).

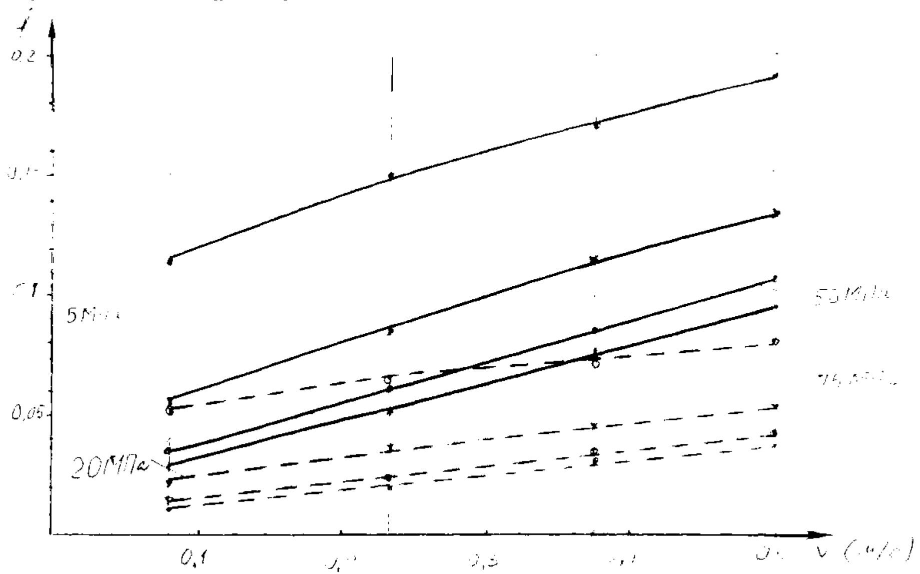


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения от термосилового нагружения:
— T =293⁰ К; --- T = 423⁰ К

Антифрикционность фторопласта определяется относительной слабостью межплоскостных связей и его адгезионным переносом на контртело. В связи с адгезионной способностью поверхности природа и даже марка материала контртела, контактирующего с покрытием, влияют на условия страгивания. Результаты сравнительных экспериментальных исследо-

ваний трибосопряжений с контртелами из различных материалов сведены в табл.4, номера соответствуют покрытиям из табл.1.

Таблица 4

Коэффициенты трения покоя
(σ = 75 МПа , V = 0,08 м/с)

№ п/п	Марки материалов контртел			
	ВТ 3-1	Сталь14Х17Н2	Сталь 45	Сталь ШХ15
1	0,052	0,045	0,029	0,027
2	0,055	0,043	0,035	0,030
3	0,057	0,047	0,038	0,032
4	0,057	0,050	0,030	0,033

Коэффициенты трения покоя убывают в ряду - титановый сплав, нержавеющая, конструкционная и подшипниковая стали. Причем стали марок 45 и ШХ15 имеют весьма близкие результаты. По-видимому это связано со структурными особенностями исследованных сплавов. Наименьший уровень коэффициентов трения имеют покрытия на основе атласных тканей, а среди них - более толстое. Очевидно, что это определяется 100%-ным выходом фторопласта на рабочую поверхность покрытия и лучшими демпфирующими свойствами более толстого покрытия.

Выводы. 1. Для исследованных материалов контртел и покрытий в условиях проведенных экспериментов пусковой момент трения превышает стационарный на 6-9%.

2. Лучшими фрикционными пусковыми характеристиками обладает покрытие на основе шестиремизного неправильного атласа толщиной 0,53 мм в паре с контртелом из стали марки ШХ15.

3. Наименьший уровень пусковых характеристик обеспечивается трибосопряжениями на основе всех исследованных покрытий с контртелами из сталей марок 45 и ШХ15.

Библиографический список

1. *Кохановский В.А.* Идентификация металлополимерных трибосистем // Пластические массы. - 1997. - №6. - С.28-32.

2. Трение и износ материалов на основе полимеров / В.А.Белый, А.И.Свириденок, М.И.Петроковец, В.Г.Савкин. – Минск: Наука и техника, 1978. - 432с.

3. *Кохановский В.А.* Структура и свойства антифрикционных волокнитов / В.А.Кохановский // Безызносность II: межвуз. сб. науч. тр. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 1992. - С.132-137.

Материал поступил в редакцию 27.03.08.

V.A.KOHANOVSKY, U.V. SIDELNIK-RUBANOVA

STARTING ADJECTIVES FOR METAL-POLYMERIC TRIBOSYSTEMS WITH COMPOSITION COVERAGE

Results of unseat moment investigations for metal-polymeric turning pairs are cited. Testing machine and testing technique are described. Fluent features of thermal and power load conditions to friction coefficient are descripted.

КОХАНОВСКИЙ Вадим Алексеевич (р. 1939), профессор (1997) кафедры "Технология конструкционных материалов" ДГТУ, доктор технических наук (1995). Окончил технологический факультет РИСХМа (1962).
Область научных интересов - трение и изнашивание, идентификация трибосистем, прогнозирование ресурса, надежность трибосопряжений.
Автор более 100 научных публикаций.

СИДЕЛЬНИК-РУБАНОВА Юлия Владиленовна, старший преподаватель кафедры "Безопасность жизнедеятельности" ДГТУ (2001). Окончила ДГТУ (1993) по специальности "Металлорежущие станки и инструменты".
Имеет 7 печатных работ в области трения полимерных композитов.